



ESTUDIOS QUÍMICOS Y MOLECULARES DE JATROPHAS DE SONORA COMO FUENTE POTENCIAL DE ACEITES

LUIS ÁNGEL MEDINA JUÁREZ*, ÁNGELA CORINA HAYANO KANASHIRO, JOSÉ PABLO LOVIO FRAGOSO, OMAR ALEJANDRO REYNA VALENZUELA, NOHEMÍ GÁMEZ MEZA

RESUMEN

Las plantas del género *Jatropha*, pertenecientes a la familia de las Euphorbiaceae, pueden ser consideradas como alternativa para la obtención de semilla, con uso potencial en la fabricación de biocombustibles por su contenido alto de aceite. Se conocen alrededor de 186 especies distribuidas alrededor del mundo, de las cuales 48 se encuentran en México. En Sonora se conocen principalmente las especies de *Jatropha cardiophylla*, *Jatropha cordata*, *Jatropha cinerea* y *Jatropha cuneata*. La información que se tiene hasta el momento para especies adaptadas a zonas áridas en cuanto a la composición química de sus semillas es escasa y se desconoce el aspecto molecular relacionado con la síntesis de ácidos grasos. Por tal razón, se ha iniciado el estudio de la composición química y su relación con la expresión de genes, involucrados en la síntesis de ácidos grasos específicamente de los ácidos oleico y linoleico en las semillas de las especies de *Jatropha* nativas de Sonora.

Palabras clave: *Jatropha*, semilla, aceite, ácidos grasos, genes.

RESUMEN

Jatropha plants of the genus belonging to the family of Euphorbiaceae, can be considered as an alternative for obtaining seed, with potential use making biofuels by its high oil content. Around 186 species distributed worldwide, of which 48 are in Mexico are known. In Sonora *Jatropha cardiophylla*, *Jatropha cordata*, *Jatropha cuneata* and *Jatropha cinerea*, specie sismainly known. The information we have so far is poor for species adapted to arid areas in terms of the chemical composition of its seeds, and it is unknown the molecular aspect of fatty acid synthesis. For this reason, it has begun the study of the chemical composition and its relationship to the expression of genes involved in fatty acid synthesis, specifically of oleic and linoleic acids in the seeds of *Jatropha* native species in Sonora.

Keywords: *Jatropha*, seed, oil, fatty acids, genes.

DR. LUIS ÁNGEL MEDINA JUÁREZ
Correo: amedina@guayacan.uson.mx
DRA. ÁNGELA CORINA HAYANO KANASHIRO
Correo: angela.hayano@guayacan.uson.mx
I.B. JOSÉ PABLO LOVIO FRAGOSO
Posgrado en Biociencias
Correo: jpablolovio@hotmail.com

BIÓL. OMAR ALEJANDRO REYNA VALENZUELA
Correo: alexbx@live.com.mx
DRA. NOHEMÍ GÁMEZ MEZA
Correo: ngamez@guayacan.uson.mx
Depto. de Investigaciones Científicas y Tecnológicas,
Universidad de Sonora

*Autor para correspondencia: Dr. Luis Ángel Medina Juárez
Correo electrónico: amedina@guayacan.uson.mx
Recibido: 10 de septiembre de 2015
Aceptado: 26 de noviembre de 2015
ISSN: 2007-4530





INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas de impacto mundial que ha afectado a diversos rubros ha sido la dependencia y el agotamiento de recursos renovables, como el petróleo para la obtención de combustibles. Por otro lado, la combustión excesiva de éstos ha incrementado la concentración de gases invernaderos en la atmósfera, incidiendo directamente en la naturaleza, contribuyendo con el calentamiento global y dañando la biodiversidad del planeta [1, 2]. Como respuesta ante esta problemática, surgieron los biocombustibles como alternativa para reducir los efectos negativos ocasionados por el uso excesivo de fuentes no renovables de energía [3].

Los biocombustibles se pueden obtener a partir de materia producida por organismos vivos, la cual es denominada 'biomasa'. Existen varios tipos de combustibles y éstos se clasifican en base al recurso del que se obtienen y a la tecnología empleada para generarlos [4]. Actualmente, se ha recurrido al uso de semillas oleaginosas para la extracción de su aceite y producción de biodiésel, como: la soya, el girasol, la colza y el algodón [3]. Sin embargo, ha generado polémica el uso de tierras de cultivo para el desarrollo de productos energéticos; y/o el uso de aceites vegetales cuyo fin principal es el alimenticio, para la producción de biocombustibles. De ahí que es de suma importancia encontrar fuentes alternativas que no representen un retroceso en la problemática alimentaria ya existente. En México, el desarrollo de los biocombustibles es un reto de política pública innovadora para la atención de las necesidades concretas de la sociedad actual. Esta política se enmarca dentro de la estrategia 4.4.3 del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 [5]. Además, tiene

también su fundamento en el objetivo V. Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales, inciso a) Bioenergía y Fuentes Alternativas, del Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario y Pesquero de la SAGARPA 2013-2018 [6].

Existen estudios recientes que proyectan a las plantas del género *Jatropha* como una alternativa potencial para la producción de biodiésel a partir del aceite extraído de sus semillas, ya que se caracterizan por desarrollarse en condiciones climáticas poco favorables y que por su composición química no representa una opción alimenticia [1]. Existen estudios donde mencionan que la toxicidad de las semillas de *Jatropha*, se atribuye principalmente a la presencia de forbol-ésteres (diterpenoides) [7].

En México, se cuenta con variedades de *Jatropha curcas*, que no presentan forbol-ésteres y son consumidas por la población local de Yucatán, Puebla y Veracruz, aunque se ha sugerido la posibilidad de que la pasta de *Jatropha* sea usada como alimento para animales [7]. En lo que respecta a otras especies de *Jatropha* específicamente a las que se encuentran adaptadas a zonas áridas y semiáridas, la información en cuanto su composición química es escasa y no se tienen registros de estudios moleculares.

El género *Jatropha*

Las plantas del género *Jatropha* pertenecen a la familia de las Euphorbiaceae y se conocen alrededor de 186 especies alrededor del mundo. En México, se encuentran 48 especies de *Jatropha* y de esas especies, 39 son endémicas, representando el 21% de las especies que se tienen registradas [8, 9, 10]. *Jatropha curcas* es una especie multipropósito, resistente a sequía, con capacidad para

crecer en suelos marginales y de relevante importancia por su uso industrial y medicinal [11]. Se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de las costas del Océano Pacífico y del Golfo de México, desde Sinaloa a Oaxaca y desde el norte de Veracruz hasta la península de Yucatán [8]. *Jatropha curcas* ha sido ampliamente estudiada y se ha perfilado como un cultivo prometedor para la obtención de biodiésel. Se ha reportado un rendimiento de 30-40% en la extracción de aceite a partir de su semilla, el cual está conformado de 21% de ácidos grasos saturados y 79% de insaturados [12]. De ese 79%, del 30 al 50% son ácidos grasos poliinsaturados, principalmente ácido linoleico [13], el cual proporciona un efecto negativo sobre la calidad del biodiésel debido a su susceptibilidad alta a la oxidación, afectando también el número de cetano (parámetro importante y determinante en la calidad del biodiésel).

Especies de *Jatropha* en regiones áridas del estado de Sonora

En Sonora, se encuentran ampliamente distribuidas principalmente cuatro especies de *Jatropha*: *Jatropha cardiophylla*, *Jatropha cordata*, *Jatropha cinerea* y *Jatropha cuneata* (Figura 1).

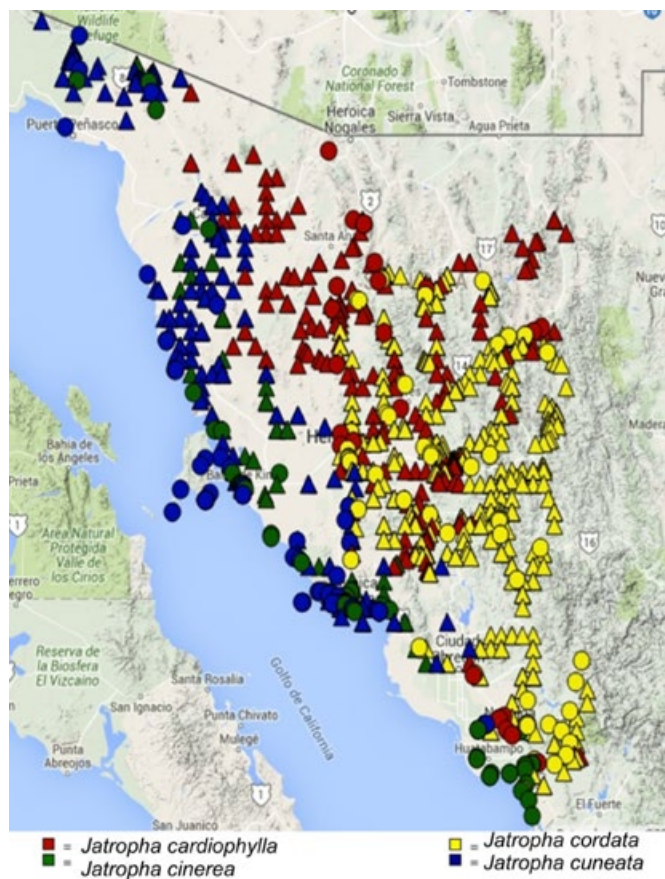


Figura 1. Mapa de distribución de las cuatro especies de *Jatropha* presentes en el estado de Sonora (<http://swbiodiversity.org/seinet/index.php>).

Jatropha cardiophylla, comúnmente conocida como 'Sangre de Cristo' o 'Sangre de grado', crece en pendientes rocosas. Son arbustos de bajo crecimiento, su altura promedio es de un metro y presenta ramas flexibles (Figura 2A). Las semillas de esta especie presentan una forma circular con una coloración que varía del marrón a claro [14]. Es una especie endémica de las regiones subtropicales y del Desierto de Sonora [15].



Figura 2. *Jatropha cardiophylla*. A. Planta. B. Semillas.

Jatropha cordata es un arbusto o árbol perenne que puede llegar a medir hasta 10 metros de altura (Figura 3A). Se encuentra distribuida en ambos lados del Golfo de California, por toda la península de Baja California, extendiéndose desde la isla Ángel de la Guarda, por una franja estrecha a lo largo de la costa, hasta San José del Cabo, y de ahí a través de Sonora, Chihuahua, Sinaloa y Jalisco [16, 17]. Puede encontrarse sobre pendientes, así como en planicies. Una característica particular de *Jatropha cordata*



es su tallo, el cual desprende unas láminas delgadas semejantes al papel, por lo que se le conoce como 'Papelillo' o 'Torota' [18]. Estas cortezas suelen ser utilizadas como un jabón que desprende aroma, además de ser atractivo para uso artesanal de algunas comunidades indígenas; la planta suele ser usada por los indios yaquis y mayos para formar una famosa artesanía llamada "pascola", también se emplea por su madera blanda para hacer objetos característicos en danzas ceremoniales [19]. Sus semillas son de forma ovoide y su tonalidad varía entre el negro, marrón y claro [14, 20] (Figura 3B).



Figura 3. *Jatropha cordata*. A. Planta. B. Frutos.

Jatropha cinerea, conocida también comúnmente como 'Torito', 'Lomboy' o 'Sangregado' (Figura 4A), se distribuye ampliamente por la península de Baja California, a lo largo de las costas del estado de Sonora hasta Sinaloa; se tiene registro de pocas poblaciones al sur del estado de Arizona [15]. Sus hojas asemejan la forma de riñón, sus flores son rosadas y de apariencia tubular o globular y sus frutos son redondos [21]. Se caracteriza por su resistencia a períodos largos de sequía y su desarrollo en suelos salinos [22]. Su semilla es redonda y su coloración coincide con el resto de las plantas del género *Jatropha* adaptadas a la región, desde un marrón oscuro hasta un claro (Figura 4B).



Figura 4. *Jatropha cinerea*. A. Planta. B. Semillas.

Felger y Moser [23], publicaron la farmacopea de los indios seris, reportando que este grupo indígena, utiliza las raíces de plantas jóvenes de *Jatropha cinerea* para curar la disentería y la savia de esta planta para aplicación en úlceras bucales infantiles.





Jatropha cuneata es un arbusto que puede alcanzar 2 metros de altura (Figura 5). Se encuentra distribuida por la península de Baja California, a lo largo de las costas del estado de Sonora y escasamente al sur del estado de Arizona. Tanto *Jatropha cinerea* como *Jatropha cuneata*, pueden encontrarse en el mismo ecosistema, la diferencia radica en que la primera puede observarse a varios metros del mar y en terrenos planos mientras que a *Jatropha cuneata* puede encontrarse generalmente en llanuras pedregosas y pendientes rocosas. Se le conoce comúnmente como 'Tecote prieto', 'Torote amarillo' o 'Matacora' [15]. Se ha reportado el uso de los tallos de *Jatropha cuneata* en la fabricación de cestería por el pueblo seri en Sonora, México [24]. Por otro lado, según estudios de extractos de esta planta, se le atribuye una alta actividad antimicrobiana contra *Shigella flexneri* y los hongos *Fusarium verticillioides* y *Aspergillus niger* [25].



Figura 5. *Jatropha cuneata*.



Estudios moleculares en *Jatropha*

En los últimos años, se han realizado una serie de trabajos de variabilidad genética de poblaciones utilizando marcadores moleculares y basándose en características bioquímicas de *Jatropha curcas* provenientes de diferentes regiones como África, India, China, Brasil y México [26, 27, 28, 29]. Con la finalidad de mejorar la calidad del aceite, desarrollar nuevas variedades no tóxicas y optimizar el rendimiento de las semillas y la arquitectura de la planta [30]. Con la secuenciación del genoma de *Jatropha curcas* en el 2011, el cual presenta un total de 40,929 genes y 9,870 que codifican para proteínas con función conocida [31], lo que podría acelerar el proceso de mejoramiento genético en *Jatropha curcas*, y tener una mayor información de la función de varios genes involucrados en la síntesis de ácidos grasos y de tolerancia a estrés abiótico [32]. Aunado a ello, los análisis transcriptómicos han servido para identificar la función de varios genes clave en la síntesis de los ácidos grasos en *Jatropha curcas* que regulan desde la longitud hasta el nivel de insaturación en los ácidos grasos [2, 33, 34]. Asimismo, se han identificado los genes que pudieran estar involucrados en la toxicidad de las semillas de *Jatropha curcas* [35]. De los genes previamente identificados, el gen *FAD2-1* ha generado interés ya que se ve directamente involucrado en la conversión del ácido oleico al linoleico durante la síntesis de los ácidos grasos. Se ha logrado silenciar este gen, obteniendo niveles altos de ácido oleico en el aceite [2]. Sin embargo, hasta el momento, son pocos los estudios de los genes involucrados en la síntesis de ácidos grasos en las especies nativas del estado de Sonora.

Avances de los estudios químicos y moleculares en especies de *Jatropha* que se encuentran en el estado de Sonora

Después de realizar muestreos de semillas de las especies de *Jatropha* antes mencionadas se pudo constatar que las semillas de *Jatropha cuneata* son las más pequeñas en tamaño; son de forma redonda y su coloración varía desde un marrón a amarillo verdoso.

Estudios recientes reportan la composición química de la semilla de las especies de *Jatropha cardiophylla*, *Jatropha cordata* y *Jatropha cinerea*, concretándose en su aceite (Tabla 1) y al estudio químico de las pastas provenientes de sus semillas [36, 37, 38]. Estos estudios muestran que las especies de *Jatropha* nativas de regiones áridas poseen un contenido de aceite similar a *Jatropha curcas*. En relación al contenido de ácidos grasos, se corroboró que se encuentran en mayor cantidad los ácidos grasos insaturados (84-88 g /100 g de aceite) que los ácidos grasos saturados (12-15 g /100 g de aceite). También se constató en estas especies que los ácidos grasos oleico y linoleico son los que se encuentran en mayor cantidad. De estos dos ácidos, el ácido linoleico es el que se encontró en mayor cantidad (45-50 g/100 g de aceite) en relación al ácido oleico (34-37 g/100 g de aceite). Estos resultados coinciden con lo ya reportado en *Jatropha curcas*, tanto en cantidad de ácidos grasos saturados frente a ácidos grasos insaturados como en la presencia mayoritaria de los ácidos grasos oleico y linoleico, siendo este último el que se encuentra en mayor concentración [12, 13].



Tabla 1. Composición química de la semilla de *Jatropha cordata*, *Jatropha cardiophylla*, *Jatropha cinerea* y *Jatropha curcas*.

Compuestos (% peso/peso)	<i>Jatropha cordata</i> ^a	<i>Jatropha cardiophylla</i> ^a	<i>Jatropha cinerea</i> ^b	<i>Jatropha curcas</i> ^b
Proteína cruda	28.3	28.9	29.97	27.77
Lípido	51.7	53.7	55.66	55.5
Mirístico C14:0	0.42 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.72	0.29
Palmítico C16:0	7.66 ± 0.12	8.02 ± 0.02	10.25	11.41
Palmitoleico C16:1	1.35 ± 0.07	1.05 ± 0.06	0.59	0.57
Esteárico C18:0	4.16 ± 0.82	5.41 ± 0.04	8.39	6.33
Oleico C18:1	36.64 ± 2.23	34.36 ± 1.01	37.37	33.05
Linoleico C18:2	49.88 ± 1.32	50.72 ± 3.12	45.75	42.90
Linolénico C18:3	0.23 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.20	0.22
Araquídico C20:0	0.09 ± 0.02	0.18 ± 0.07	0.28	0.25

Existe también un estudio comparativo entre *Jatropha curcas* y *Jatropha cinerea* donde se evaluó la resistencia a estrés salino, donde esta última se impuso a *Jatropha curcas*, despertando aún más el interés de esta especie por su producción de semilla en condiciones extremas como el desarrollarse en suelos salinos y en períodos largos de sequía [22].

De manera general, los estudios iniciados en nuestro grupo de trabajo pretenden conocer el potencial y definir la viabilidad del uso de estas especies de *Jatropha* que se encuentran adaptadas a las condiciones que imperan en el estado de Sonora para la obtención de su aceite y la producción de biocombustibles, en lugar de introducir especies de *Jatropha* adaptadas a climas tropicales y

sub-tropicales de condiciones completamente diferentes a las que se encuentran en Sonora y en las que su aprovechamiento sería más complicado.

Por otra parte, se han iniciado estudios a nivel molecular para obtener información sobre el nivel de expresión de los genes involucrados en la síntesis de ácidos grasos en estas especies de *Jatropha*, correlacionándolos con el contenido de ácidos grasos presentes en las semillas. Otros aspectos de la biología de la planta como su funcionamiento general, las condiciones extremas en las que se desarrolla y los genes involucrados en estas condiciones, son retos de estudio, ya que no se tiene información de este tipo para estas especies de *Jatropha*.



CONCLUSIONES

El interés de estudiar y analizar la composición química de las semillas de *Jatropha cardiophylla*, *Jatropha cordata*, *Jatropha cinerea* y *Jatropha cuneata* y su correlación con la expresión de los genes involucrados en la síntesis de los ácidos oleico y linoleico (encontrados en mayor cantidad en el aceite del género *Jatropha*) ha generado un enorme interés en nuestro grupo de trabajo, debido que nos ofrece la oportunidad de proponer nuevas fuentes de energía adaptadas al estado de Sonora, en base a los recursos naturales que se encuentran disponibles. Además de proponer una nueva opción para el aprovechamiento de este tipo de recursos vegetales propios de las regiones áridas y semiáridas de México. Para ello, es necesario conocer a fondo la biología y química de estas plantas para tener un panorama general que permita tener un aprovechamiento adecuado de estos recursos.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) M. Reddy D. Pamidimarri, *Biology and Biotechnological Advances in Jatropha curcas – a Biodiesel Plant*. Desert Plants, pp. 57 – 71, 2010.
- 2) J. Qu, H. Mao W. Chen, S. Gao, Y. Bai, Y. Sun, Y. Geng, J. Ye. Development of marker-free transgenic *Jatropha* plants with increased levels of seed oleic acid, *Biotechnology for Biofuels*. 5(1), 10, 2012.
- 3) R.M. Galaz-Ávalos, R.N. Avilez-Montalvo, C.M. Ucan-Uc, J.A. Chan-López, V.M. Loyola-Vargas. *Jatropha curcas* una alternativa para la obtención de biodiésel sin afectar al sector alimentario. *Biocombustibles*. Año 2012, Vol. 16, No. 2, pp. 94-114.
- 4) C. Álvarez-Maciél. *Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional*. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQ_biocombustibles_4a_generacion_25608.pdf [consultado 04/09/2015].
- 5) Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Disponible en: <http://pnd.gob.mx/wp-content/uploads/2013/05/PND.pdf> (consultado 10/11/2015).
- 6) Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales, Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/ProgramasSAGARPA/Documents/Reglas%20de%20Operaci%C3%B3n%20SAGARPA%202013,%20compiladas%20_1a%20y%202a_modificacion.pdf (consultado 10/11/2015).
- 7) A.J. King, W. He, J.A. Cuevas, M. Freudenberger, D. Ramiamanana, I.A. Graham. Potential of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 60, No. 10, pp. 2897–2905, 2009.
- 8) J. Fresnedo-Ramírez, Q. Orozco-Ramírez. Diversity and distribution of genus *Jatropha* in Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60(3), 1087–1104, 2012.
- 9) R. Govaerts, D.G. Frodin, A. Radcliffe-Smith, S. Carter.





- World checklist and bibliography of *Euphorbiaceae* (with *Pandaceae*), Vol 4, Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey, UK, 2012.
- 10) V. Steinmann. Diversidad y endemismo de la familia *Euphorbiaceae* en México, *Acta Botánica Mexicana* 61:61–93, 2002.
 - 11) H.P.S. Makkar, G. Francis, K. Becker, Bioactivity of phytochemicals in some lesser-known plants and their effects and potential applications in livestock and aquaculture production systems, *Animal*, 1:1371-1391, 2007.
 - 12) M. Reddy, P. Sudheer, S. Mastan, H. Rahman, N. Carels, B. Bahadur. Karyology and Genomics of *Jatropha*: Current Status and Future Prospects en *Jatropha*, Challenges for a New Energy Crop. Bahadur, B (ed.) New York, pp. 301-320, 2013.
 - 13) J. Heller. Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of and neglected crops 1. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 1996. ISBN 92-9043-278-0.
 - 14) P. Alday. Evaluación de las semillas de *Jatropha cordata* y *Jatropha cardiophylla*, como fuentes de proteína, compuestos fenólicos y aceite para la obtención de biodiesel. Tesis de Maestría, Universidad de Sonora, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Hermosillo, Sonora, México, 2011.
 - 15) R. Turner, J. Bowers, T. Burguess. *Sonoran Desert Plants: An Ecological Atlas*, United States of America: The University of Arizona Press, 2005.
 - 16) C.W. Kane. *Herbal Medicine of the American Southwest*. Lincoln Town Press. 307 pp. 2006.
 - 17) R. Popham. Developmental Anatomy of seedling of *Jatropha cordata*, *The Ohio J. Sci.*, Jan, 47(1): 1-20, 1947.
 - 18) M. González-Elizondo, M. González-Elizondo, J.A. Tena-Flores, L. Ruacho-González, L. López-Enriquez. Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis, *Acta Botánica Mexicana*, 100: 351-403, 2012, ISSN 0187-7151.
 - 19) R.M. Felger, M. Johnson, M. Wilson. *The Trees of Sonora*, Oxford University Press, New York, Estados Unidos de América, 2001.
 - 20) R.M. López, R. Cházaro, R. González, H. Covarrubias. Árboles de la barranca de los ríos Santiago y Verde. Gobierno de Jalisco. Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA Jalisco). ISBN 968-832-392-6. 2011.
 - 21) A. Castellanos, M. Esqueda. Uso de la biodiversidad para la bioenergía y biocombustibles en las zonas áridas de México. México: Editorial Universidad de Sonora, 2012.
 - 22) M. Hishida, F. Ascencio-Valle, H. Fujiyama, A. Orduño-Cruz, T. Endo, J.A. Larrinaga-Mayoral. Response to salt stress in growth, water relations, and ion content of *Jatropha curcas* and *J. cinerea* seedlings, *Interciencia*, 38(4) 298-304, 2013.
 - 23) R.S. Felger, M.B. Moser. *Seri Indian Pharmacopoeia*. *Economic Botany*, 28: 414-436, 1974.
 - 24) N. El Bassam. *Handbook of Bioenergy Crops: A Complete Reference to Species, Development and Applications*. Earthscan, Washington, DC, USA, 2010.
 - 25) E. Ruiz-Bustos, C. Velázquez, A. Garibay-Escobar, Z. García, M. Plascencia-Jatomea, M.O. Cortéz-Rocha, J. Hernández-Martínez, R.E. Robles-Zepeda. Antibacterial and antifungal activities of some mexican medicinal plants. *J. Med. Food* 12 (6), 1398-1402, 2009.
 - 26) S.D. Basha, M. Sujatha. Genetic analysis of *Jatropha* species and interspecific hybrids of *Jatropha curcas* using nuclear and organelle specific markers. *Euphytica* 168:197–214, 2009.
 - 27) S.D. Basha, G. Francis, H.P.S. Makkar, K. Becker, M. Sujatha. A comparative study of biochemical traits and molecular markers for assessment of genetic relationships between *Jatropha curcas* L. germplasm from different countries. *Plant Sci* 176:812–823, 2009.
 - 28) D.G. Ambrosi, G. Galla, M. Purelli, T. Barbi, A. Fabbri, S. Lucretti, T.F. Sharbel, G. Barcaccia. DNA markers and FCSS analyses shed light on the genetic diversity and reproductive strategy of *Jatropha curcas* L. *Diversity* 2:810–836, 2010.
 - 29) Q. B. Sun, L. F. Li, Y. Li, G.J. Wu, X. J. Ge. SSR and AFLP markers reveal low genetic diversity in the biofuel plant *Jatropha curcas* in China. *Crop Sci* 48:1865–1871, 2008.
 - 30) R. Brittain, N. Lutadallo. *Jatropha: A Smallholder Bioenergy Crop – The Potential of Pro-poor Development*. FAO, Rome, 2010.
 - 31) S. Sato et al. Sequence Analysis of the Genome of an Oil-Bearing Tree, *Jatropha curcas* L. *DNA Research*.18 (1): 65-76, 2011.
 - 32) T. Sudhakar Johnson, N. Eswaran, M. Sujatha. Molecular approaches to improvement of *Jatropha curcas* Linn. as a sustainable energy crop. *Plant Cell Rep* 30:1573–1591, 2011.
 - 33) J. Ye, J. Qu, H.T. Bui, N.H. Chua. Rapid analysis of *Jatropha curcas* gene functions by virus-induced gene silencing. *Plant Biotechnol J*, 7:964-976, 2009.
 - 34) K. Gu, C. Yi, D. Tian, J.S. Sangha, Y. Hong, Z. Yin. Expression of fatty acid and lipid biosynthetic genes in developing endosperm of *Jatropha curcas*. *Biotechnology for Biofuels*, 5(1), 47, 2012.
 - 35) G.G. Costa, K.C. Cardoso, L.E.V. Del Bern, A.C. Lima, M.A.S. Cunha, L. de Campos-Leite, R. Vicentini, F. Papes, R.C. Moreira, J.A. Yunes et al. Transcriptome analysis of the oil-rich seed of the bioenergy crop *Jatropha curcas* L. *BMC Genomics*, 11:462, 2010.
 - 36) N. Gámez, L.A. Medina, P. Alday B. Klaus, H. Makkar, Chemical characterisation of kernels, kernel meals and oils from *Jatropha cordata* and *Jatropha cardiophylla* seeds. *J. Sci. Food Agric. May*: 93(7):1706-10, 2013.
 - 37) M.P. Sosa-Segura, B.D. Oomah, J.C.G. Drover, J.B. Heredia, T. Osuna-Enciso, B. José. Physical and Chemical Characterization of Three Non-Toxic Oilseeds from the *Jatropha* genus, *Journal of Food and Nutrition Research* 2(1), 56–61, 2014.
 - 38) S. Soto, E. López, J. Milán, M. Sánchez, E. Cuevas, L. Picos, I. Contreras. *Jatropha cinerea* seed oil as potencial non-conventional feedstock for biodiesel produced by an ultrasonic process, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Vol.13, No.3., 2014.